

BB

English Abstract for DE 35 20 699

**Selective aluminium diffusion into silicon - from sputtered deposit on silicon substrate**

Patent Assignee: BBC BROWN BOVERI & CIE AG (BROV )

Inventor: KESER H; VOBORIL J

Number of Countries: 006 Number of Patents: 006

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 3520699	A	19860123	DE 3520699	A	19850610	198605 B
JP 61285714	A	19861216				198704
EP 216954	A	19870408	EP 85112967	A	19851012	198714
US 4720469	A	19880119	US 86850541	A	19860411	198805
EP 216954	B	19900718				199029
DE 3578777	G	19900823				199035

Abstract (Basic): DE 3520699 A

In the selective diffusion of aluminium into a silicon substrate by aluminium deposition and structuring, followed by heating in an atmos. consisting of a non-oxidising gas and oxygen, the novelty is that the aluminium is cathodically sputtered in a non-corrosive gas plasma onto the silicon substrate.

USE/ADVANTAGES - The process is useful in the mfr. of power semiconductor devices such as diodes and thyristors. A high purity Al deposit (with reduced heavy metal impurity content) is obtd. and the deposit adheres well and melts uniformly with the silicon so that no droplets are formed (cf. the electron beam evaporation process of DE2812658). (12pp Dwg.No.1/6)



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 35 20 699.3  
㉔ Anmeldetag: 10. 6. 85  
㉕ Offenlegungstag: 23. 1. 86

Behördenbesitz

DE 3520699 A1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

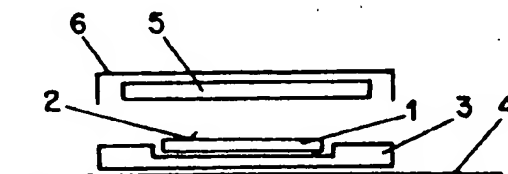
㉗ Anmelder:  
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden,  
Aargau, CH

㉘ Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 7891  
Küssaberg

㉚ Erfinder:  
Keser, Helmut, Birr, CH; Voboril, Jan, Dipl.-Phys.,  
Nussbaumen, CH

⑤ Verfahren zum selektiven Diffundieren von Aluminium in ein Siliziumsubstrat

Zur P-Dotierung von Silizium, insbesondere für Leistungs-  
halbleiterbauelemente, wird Aluminium von einem Al-Target  
(5) durch Kathodenzerstäubung in einem Argon-Plasma auf  
einer Hauptfläche (2) einer Siliziumscheibe (1) abgeschie-  
den, wodurch eine vergleichsweise hohe Reinheit des abge-  
schiedenen Aluminiums erreicht wird. Vor der Aluminium-  
abscheidung wird die Siliziumscheibe (1) 10 min bei einem  
Argon-Druck von 10  $\mu$ bar mit Argon-Ionen bombardiert, was  
bei einem späteren Aufheizen ein gleichmäßiges Ver-  
schmelzen des Aluminiums mit dem Silizium gewährleistet  
und insbesondere eine Tröpfchenbildung des Aluminiums  
auf der Hauptfläche (2) verhindert. Das Diffundieren erfolgt  
300 min lang bei 1250° C in einem Gasgemisch aus Stickstoff  
oder Argon (1 l/min) und Sauerstoff (20 l/min).



DE 3520699 A1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zum selektiven Diffundieren von Aluminium  
in ein Siliziumsubstrat,
  - a) wobei auf wenigstens eine Hauptfläche (2) des Siliziumsubstrats (1) Aluminium abgeschieden,
  - 5 b) dieses Aluminium gemäss einem vorgebbaren Muster strukturiert und
  - c) das mit einem Aluminiummuster beschichtete Siliziumsubstrat in einer aus einem nicht oxydierenden Gas und Sauerstoff bestehenden Atmosphäre auf eine
    - 10 Diffusionstemperatur erhitzt wird,
 dadurch gekennzeichnet,
    - d) dass das Aluminium durch Kathodenzerstäubung in einem nicht korrodierenden Gasplasma auf dem Siliziumsubstrat abgeschieden wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
  - a) dass das Zerstäuben in einem Edelgasplasma,
  - b) insbesondere in einem Argon-Plasma, durchgeführt wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
  - a) dass das Siliziumsubstrat (1) vor der Aluminiumabscheidung mit Edelgas-Ionen,
  - b) insbesondere mit Argon-Ionen, bombardiert wird.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
  - a) dass das nicht oxydierende Gas beim Erhitzen Stickstoff und/oder
  - b) Argon ist.

- 10-00-85  
2
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet t,
- 5 a) dass auf mindestens einer Hauptfläche (2) des mit einem Aluminiummuster beschichteten Siliziumsubstrats (1) vor dem Erhitzen auf die Diffusionstemperatur eine Diffusions-Schutzschicht für andere Dotierstoffe als Aluminium aufgebracht wird,
- b) insbesondere, dass die Diffusions-Schutzschicht eine  $\text{SiO}_2$ -Schicht ist.
- 10 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,
- 15 a) dass das Erhitzen des Siliziumsubstrats (1) von ca. 500 °C auf eine Diffusionstemperatur von etwa 1250 °C mit einer Aufheizgeschwindigkeit von etwa 3 K/min durchgeführt,
- b) dass das Siliziumsubstrat etwa 300 min auf dieser Diffusionstemperatur gehalten und
- c) anschliessend mit einer Abkühlgeschwindigkeit von etwa 1 K/min auf etwa 500 °C abgekühlt wird.

10-05-85

3520699

3

58/85

7.6.85

- 2 -

Rz/dh

Verfahren zum selektiven Diffundieren von  
Aluminium in ein Siliziumsubstrat

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem Verfahren zum selektiven Diffundieren von Aluminium in ein Siliziumsubstrat nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

5 Aluminium, das über eine grosse Diffusionskonstante in Silizium verfügt, ist einer der wichtigsten Dotierstoffe zur Herstellung von Leistungshalbleiterbauelementen wie Dioden und Thyristoren. Für die Aluminiumdiffusion werden verschiedene Verfahren angewendet:

10 a) Eine Diffusion im Vakuum, bei der als Aluminiumquelle selbst das Diffusionsrohr dient. Das Diffusionsrohr besteht aus Silizium, ist mit Aluminium dotiert und in einem herkömmlich evakuierten Quarzglasrohr untergebracht.

15 b) Eine Diffusion im Argon als Schutzgas, bei der als Aluminiumquelle eine zweite Siliziumscheibe dient, die mit Aluminium durch Migration der Al-Si-Schmelze dotiert ist, und bei der die Quellenscheibe im direkten Kontakt mit der Zi lscheib ist.

- c) Eine Diffusion, bei der das Aluminium in Form einer  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ -Schicht auf die Zielscheibe aufgebracht wird.

5 Alle genannten Methoden haben ausser anderen einen gemeinsamen Nachteil: Selektive Diffusion ist hier nicht möglich. Beim Verfahren nach b) ist zwar einseitige Al-Diffusion möglich, Versuche mit einer diffundierten Struktur auf einer Scheibenoberfläche sind jedoch gescheitert.

10 Für eine Randkonturierung, d.h. die Formgebung des Randes eines Halbleiterbauelementes, wie es für Hochspannungsbauelemente benötigt wird, ist es von Vorteil, wenn der sperrende PN-Uebergang, auf dem die ganze Spannung in Sperrichtung liegt, am Rand tiefer gezogen wird oder wenn ein sogenannter Schutzring ausgebildet werden kann. Für feldgesteuerte Thyristoren ist ein tiefer PN-Uebergang zu diffundieren, wofür eine tiefe selektive P-Diffusion notwendig ist. Im Hinblick auf die erforderliche Eindringtiefe dieser Diffusion kommt als Dotierstoff praktisch nur Aluminium in Frage, da Bor oder Gallium eine zu geringe Diffusionskonstante aufweisen. Die Diffusionskonstante von Aluminium ist etwa 10 mal so gross wie die von Bor. Gallium diffundiert zwar etwas schneller im Vergleich zu Bor, es ist aber nicht maskierbar. Das Problem einer selektiven Al-Diffusion ist bis jetzt nicht zufriedenstellend gelöst worden. In der Praxis wird diese Aufgabe so erfüllt, dass nach der Belegung (Prädeposition) 25 das Silizium auf den unerwünschten Gebieten bis in die Eindringtiefe dieser Diffusion abgeätzt wird. Dann findet die zweite Diffusionsstufe (drive-in) in einem solchen Gasgemisch statt, welches das ausdiffundierende Aluminium 30 bindet.

Mit dem Oberbegriff nimmt die Erfindung auf einen Stand der Technik von Verfahren zum selektiven Diffundieren

von Aluminium in ein Siliziumsubstrat 8 zug, wie r in  
der DE-AS 2 812 658 beschrieben ist. Dort wird auf eine  
Hauptfläche eines Einkristall-Siliziumhalbleitersubstrats  
Aluminium aus einem Aluminiumdraht mit einer Reinheit  
5 von 99,9995 % als Aluminiumquelle in einer Stärke von  
weniger als 2  $\mu\text{m}$  in einem gitterförmigen Muster abge-  
schieden. Der Aluminiumdraht wird durch einen Elektronen-  
strahl erhitzt und das Aluminium bei einem Druck im Be-  
reich von 270  $\mu\text{Pa}$  bis 400  $\mu\text{Pa}$  auf dem auf 230 °C - 250 °C  
10 erhitzten Siliziumsubstrat abgeschieden und nach üblicher  
Weise photolithographisch strukturiert. Das Si-Substrat  
wird in einer Atmosphäre aus einem nicht oxydierenden  
Gas, wie Stickstoff oder Argon, und 0,05 - 10 Vol-%  
Sauerstoff bis zur Ausbildung einer zusammenhängenden  
15 Oxidschicht auf der Aluminium- und Siliziumoberfläche  
erhitzt. Nachteilig dabei ist, dass durch den Elektronen-  
strahl auch die Umgebung des bestrahlten Aluminiumdrahtes  
auf eine hohe Temperatur ansteigt, was zu einer Verdamp-  
fung z.B. von Tiegelmateriale und damit zu einer uner-  
20 wünschten Verunreinigung der Aluminiumaufdampfschicht  
führen kann.

Schwierigkeiten treten auf, wenn die mit Aluminium be-  
schichtete Siliziumscheibe aufgeheizt wird, da die Al-  
Si-Schmelze wegen einer Zwischenschicht auf der Si-Ober-  
25 fläche nicht gleichmässig verteilt ist, was sich als  
Bildung von kleinen Tröpfchen zeigt. Infolge dessen ist  
die Homogenität der Diffusion nicht gewährleistet.

Die Erfindung, wie sie im Patentanspruch 1 definiert  
ist, löst die Aufgabe, bei einer selektiven Aluminium-  
30 diffusion eine höhere Reinheit des Aluminiums auf dem  
Si-Substrat zu erreichen bzw. den Anteil an Verunreini-

gungen durch Fremdatome, insbesondere durch Schwermetallatom, zu verringern.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass kontaminationsfreie Aluminiumschichten auf die Oberfläche der  
5 Siliziumscheibe aufgebracht werden können.

Gemäss einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird erreicht, dass diese Aluminiumschichten gut haften und beim Aufheizen gleichmässig mit dem Silizium zusammenschmelzen, so dass keine Tröpfchenbildung auftritt.

10 Zum einschlägigen Stand der Technik wird zusätzlich auf die US-PS 4,199,386 verwiesen, aus der es bekannt ist, auf die Siliziumscheibe eine komplizierte Struktur aus mehreren Schichten aufzubringen, die dann strukturiert wird und als Diffusionsquelle dient.

15 Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung zur Aluminiumbeschichtung einer Siliziumscheibe,

20 Fig. 2 eine Siliziumscheibe gemäss Fig. 1, die mit Aluminium und Photolack beschichtet ist,

Fig. 3 eine Siliziumscheibe gemäss Fig. 2 nach dem Wegätzen des Aluminiums,

Fig. 4 eine Siliziumscheibe gemäss Fig. 3 nach dem Entfernen des Photolacks,

25 Fig. 5 eine Siliziumscheibe gemäss Fig. 4 nach einer Diffusion in sauerstoffhaltiger Atmosphäre und



Fig. 6 ein Diffusionsprofil der Siliziumscheibe gemäss Fig. 5 unterhalb der Aluminiumschicht.

In Fig. 1 ist mit 1 eine Siliziumscheibe bzw. ein Siliziumsubstrat bezeichnet, dessen obere Hauptfläche 2 poliert ist und mit Aluminium beschichtet werden soll.  
5 Die Siliziumscheibe 1 vom n-leitenden Typ hat einen Durchmesser von 50,8 mm und einen spezifischen Widerstand im Bereich von  $40 \Omega \text{ cm}$  -  $60 \Omega \text{ cm}$ . Sie liegt auf einer Unterlagscheibe 3 aus Silizium, so dass sie während der  
10 Aluminiumbeschichtung in einer im Handel erhältlichen Hochvakuum-Kathodenzerstäubungsanlage mit deren Drehteller 4 nicht in Kontakt kommt. 5 bezeichnet eine Aluminium-Prallplatte bzw. ein Al-Target, das als Kathode geschaltet ist und zerstäubt wird. Dieses Al-Target 5  
15 wird durch eine Abschirmelektrode 6 abgeschirmt.

Im Plasma eines Edelgases, vorzugsweise in einem Argon-Plasma wird durch Ionenbeschuss das Al-Target 5 zerstäubt und ein Aluminiumbelag bzw. eine Aluminiumschicht 7 vorgegebener Dicke von z.B. 1  $\mu\text{m}$  auf der Siliziumscheibe 1  
20 niedergeschlagen, vgl. Fig. 2. Dabei ist von grosser Bedeutung, dass die Si-Oberfläche vor dem Zerstäuben etwa 10 min lang bei 20  $\mu\text{bar}$  Argondruck mit Ar-Ionen bombardiert wird, was zum Abtrag der Siliziumschicht und der darauf befindlichen  $\text{SiO}_2$ -Haut (native oxide)  
25 führt. Damit wird der direkte Kontakt zwischen Al und Si ohne die störende Trennschicht gewährleistet, und diese aufgebrachte Al-Schicht schmilzt mit dem Silizium gleichmässig zusammen.

Würde die Aluminiumschicht 7 nur aufgestäubt werden,  
30 ohne vorherigen Abtrag durch Bombardierung der Hauptfläche 2 mit Ar-Ionen, so könnte es bei einer nachfolgen-

den Diffusion zu einer unerwünschten Tröpfchenbildung des Aluminiums auf der Hauptfläche 2 kommen, wobei kleine Bereiche der Hauptfläche 2 ohne Aluminiumschicht bleiben.

Das Zerstäuben erfolgt bei einem Argondruck von 8 ubar mit einer Ablagerungsgeschwindigkeit von 340 pm/s bis zu einer Schichtdicke von 1 µm. Es ist im Vergleich zum Aufdampfen ein relativ kalter Prozess, was zur Sauberkeit der aufgetragenen Substanz beiträgt, da kein Schiffchen oder Tiegel aufgeheizt wird, die eine Kontaminationsquelle darstellen. Eine Verschmutzung durch den Drehteller 4, auf dem die Siliziumscheibe 1 in der Zerstäubungsanlage aufliegt, kann durch Unterlegen der ein bisschen grösseren Silizium-Unterlagscheibe 3 verhindert werden. Diese Unterlagscheibe 3 hat in der Mitte eine Vertiefung, in der die zu behandelnde Siliziumscheibe 1 liegt und nicht wegrutschen kann.

Nach dem Zerstäuben wird die Aluminiumschicht 7 auf übliche Weise photolithographisch maskiert und ein streifenförmiger Photolackbelag 8 aufgebracht. Photolack ist z.B. unter der Bezeichnung AZ-1350 J-SF von der deutschen Firma Hoechst erhältlich. Es ist zweckmässig, auch auf der Rückseite der Siliziumscheibe 1 einen Photolackbelag 9 aufzubringen, um zu verhindern, dass die Siliziumscheibe bei einem späteren Manipulieren kontaminiert wird.

Nach dem Aufbringen der Photolackbeläge 8 und 9 wird das Aluminium in einem "ISOFORM"-Aluminium-Ätzmittel der M.I.T.-Halbleiter-Chemie-GmbH, Solingen, Deutschland, bei 55 °C 30 s lang geätzt, so dass die in Fig. 3 gezeigte Struktur entsteht.

5      Anschliessend wird der nicht mehr benötigte Photolack mit Aceton und Isopropanol je 15 s im Ultraschallbad entfernt und die Siliziumscheibe 1 mit Wasser gespült und getrocknet, so dass die in Fig. 4 dargestellte Struktur entsteht.

10      Die Haftung des Aluminiums kann jetzt durch Anlassen bei 480 °C - 500 °C 30 min lang im Vakuum noch verbessert werden; sie ist jedoch im Vergleich zu einer  $\text{Ar}^+$ -Bombardierung von untergeordneter Bedeutung, was Experimente bestätigten.

15      Das anschliessende Diffundieren des Aluminiumbelags 7 in die Siliziumscheibe 1 erfolgt 300 min lang bei einer Temperatur von 1250 °C in einem Gasgemisch aus  $\text{N}_2$  (1 l/min) und  $\text{O}_2$  (20 ml/min), wobei die Aufheizgeschwindigkeit 3 K/min beträgt. Das Abkühlen erfolgt mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1 K/min.

20      Der Sauerstoff hat die Aufgabe, die Aluminiumdämpfe aus der Aluminiumschicht in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  umzuwandeln.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ist als Diffusionsquelle unwirksam und kann auf unerwünschten Stellen keine P-Schicht erzeugen. Statt Stickstoff kann man auch Argon verwenden. Die Gebiete, in denen keine Diffusion stattfinden soll, können zusätzlich mit einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht als Diffusionsbarriere gegen die anderen Dotierstoffe, die im Rohr oder bereits in der Siliziumscheibe vorhanden sind, versehen sein.

25

Nach der Diffusion können die Ueberreste von Al,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Schmelze aus Al-Si und ggf.  $\text{SiO}_2$  abgeätzt und abgeläppt werden. Der Abtrag beim Polieren ist dabei im Vergleich zum Abtrag durch die Al-Vorbelegung gering.

Falls ein niedriger Randkonzentration gewünscht wird, kann jetzt eine sogenannte Eintr ib-(driv -in)Diffusion angeschlossen werden.

5 Bei der Diffusion diffundieren Aluminiumatome bis zu einer Diffusionstiefe  $d$  in das Innere der Siliziumscheibe 1 und bilden dort in dem n-leitenden Silizium eine  $p^+$ -dotierte Zone 10, vgl. Fig. 5.

10 Das resultierende Diffusionsprofil unter einer Aluminiumschicht 7 ist in Fig. 6 dargestellt, in der auf der Abszisse die Eindringtiefe  $a$  der Aluminiumatome in um und auf der Ordinate  $\log n$ ,  $n$  = Al-Konzentration = Anzahl Al-Atome/cm<sup>3</sup>, aufgetragen sind. Mit zunehmender Eindringtiefe  $a$  ab der Hauptfläche 2 nimmt die Konzentration  $n$  ab. Auf den Gebieten ohne Aluminiumschicht 7 wurde  
15 keine P-Dotierung gefunden.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten können alle Prozesse sein, bei welchen das gleichmässige Schmelzen des Siliziums mit dem Aluminium von Bedeutung ist, was z.B. bei der Migration der Fall ist.

10-05-85

-11-

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

35 20 699  
H 01 L 21/225  
10. Juni 1985  
23. Januar 1986

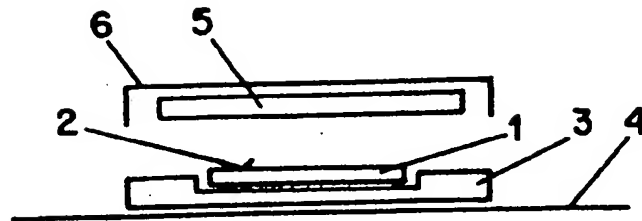


FIG. 1

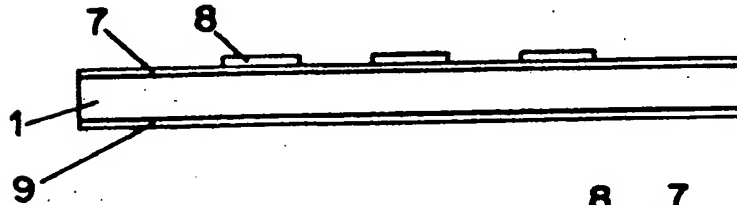


FIG. 2

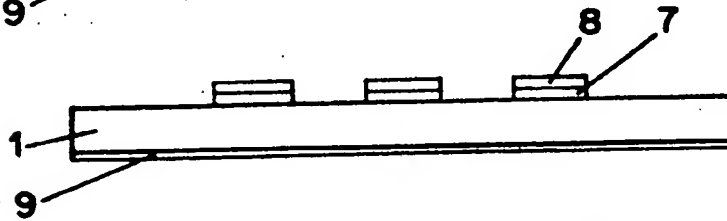


FIG. 3

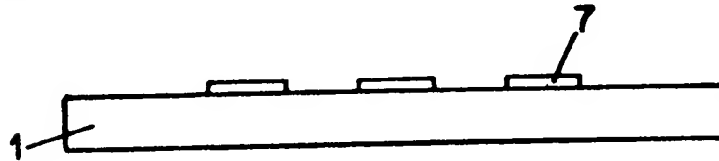


FIG. 4

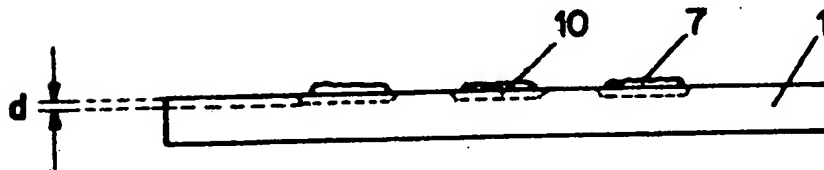


FIG. 5

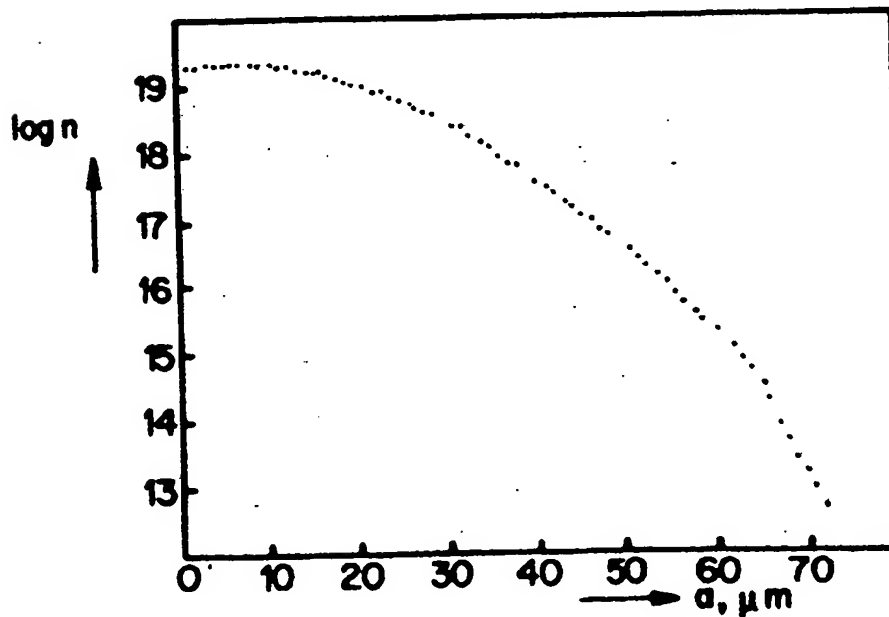


FIG. 6